心理学报 2020, Vol. 52, No. 12, 1365−1376
Acta Psychologica Sinica

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1041.2020.01365

音乐训练与抑制控制的关系：来自 ERPs 的证据*

陈洁佳 周 翊 陈 杰

(湖南师范大学教育科学学院；认知与人类行为湖南省重点实验室，长沙 410081)

摘 要 抑制控制是人类非常重要的认知功能之一，它对个体适应环境具有重要的意义。本研究将抑制控制细分为反应抑制和冲突控制，采用 Go/No-go 和 Stroop 任务从行为和脑电层面，考察了音乐训练与抑制控制能力的关系及其认知神经机制。结果发现：在行为指标上，音乐训练组比控制组的 Stroop 干扰效应更小，但两组被试在 Go/No-go 任务表现上没有差异。在脑电指标上，在 Go/No-go 任务中音乐训练组的 N2 差异波和 P3 差异波波幅(No-go 减 Go 条件)显著大于控制组，在 Stroop 任务中音乐训练组的 N450 差异波波幅(不一致减一致条件)也显著大于控制组，但两组被试的 SP 差异波波幅(不一致减一致条件)无显著差异。结果表明：音乐训练组被试在反应抑制任务中可能具有更强的冲突监控和运动抑制能力，在冲突控制任务中也具有更强的冲突监控能力。本研究从电生理的层面反映了音乐训练与抑制控制能力的提升具有一定的关联。

关键词 音乐训练，抑制控制，反应抑制，冲突控制
分类号 B842

1 引言

抑制控制(Inhibitory control)是指通过调节人们的注意、行为、思想和情绪等来克服内外部干扰，从而有效地完成预期目标的能力，它是执行功能的重要组成部分(Diamond, 2013)。抑制控制能力不仅是个体适应环境的重要能力，也是其他认知能力的基础，如推理、计划、学习能力等等(Munakata et al., 2011)。此外，一些精神和行为障碍如成瘾障碍、注意缺陷多动症、强迫症以及精神分裂症患者均表现出抑制控制能力缺陷(Diamond, 2013; Pandey et al., 2012; McNeely et al., 2003)。

因此，如何提高抑制控制能力成为心理学和临床医学共同关注的热点问题。例如，事件相关电位和脑成像的研究发现哌醋甲酯(Methylphenidate, MPH)，一种中枢神经系统兴奋剂，能够调控多动症儿童和可卡因成瘾者的神经活动，并提升他们的抑制控制能力(Li et al., 2010; Pliszka et al., 2007)。哌醋甲酯也常被用来治疗多动症，但是药物治疗的缺陷就是它存在一定的副作用。一些研究也发现认知训练能够在一定程度上提升抑制控制能力，但是这种计算机化的认知训练程序缺乏趣味性，人们很难长期坚持这种单调的训练，并且很难产生广泛的训练迁移效应(Diamond, 2013; Okada & Slevc, 2017)。

近年来，一些研究者发现音乐家具有较强的抑制控制能力，音乐训练可能与抑制控制能力的提升有关(Okada, 2016; Sachs et al., 2017; 陈杰 等, 2017)。因为在器乐演奏过程中，音乐家需要持续监控自己的演奏动作，并根据听觉和本体感觉的反馈快速调整下一个演奏动作，同时还要抑制内外部信息的干扰，这些过程都涉及抑制控制的参与(Okada & Slevc, 2017; Slevc et al., 2016)。一些实证的研究也发现，音乐训练与抑制控制有着密切的关系。例如，Travis 等人(2011)发现专业音乐家比业余音乐

收稿日期: 2020-06-14
* 国家自然科学基金(31771240)，湖南省哲学社会科学基金(15YBA263)，湖南省教育厅科学研究项目(18A036)资助。
通信作者：陈杰, E-mail: xlxchen@163.com

爱好者在色–词 Stroop 任务上表现出更小的干扰效应，这说明专业音乐家具有较好的抑制控制能力。对儿童的研究也发现接受过音乐训练的儿童相比没有接受过音乐训练的儿童，在 Simon 任务上表现更好(Joret et al., 2016)。纵向研究发现音乐训练能提升儿童在 Go/No-go 任务上的表现(Jaschke et al., 2018)。但是也有一些研究发现音乐训练和抑制控制能力没有显著关系。例如, Zuk 等(2014)的研究发现音乐训练组的儿童和成人被试在色–词 Stroop 任务上的行为成绩并没有比控制组被试更好。Slevc 等(2016)采用 Stroop 和 Simon 任务均发现音乐训练和抑制控制的关系较弱。

因此，关于音乐训练与抑制控制关系的研究仍存在不一致的结果。一方面是由于以往大多数研究只采用了单一的抑制控制任务，而不同任务所测量的抑制控制成分是不一样的。例如, Go/No-go 任务主要测量的是抑制控制中的反应抑制，Stroop 和 Simon 任务主要是测量抑制控制中的冲突控制(Diamond, 2013; 刘培朵 等, 2012)。两种抑制过程具有不同的认知神经基础。核磁共振(fMRI)的研究发现 Go/No-go 任务中的反应抑制过程主要涉及额下回(inferior frontal gyrus, IFG)和辅助运动区(SMA/preSMA)等脑区(Simmonds et al., 2008)，而 Stroop 任务中的冲突控制过程主要涉及前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)和背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC) (Badzakova-Trajkov et al., 2009; Carter & van Veen, 2007)。因此，以往研究只笼统考察了音乐训练与抑制控制之间的关系，并没有对抑制控制的成分进行细分。另一方面，以往研究主要采用行为指标来评估音乐训练和抑制控制的关系，而行为指标不能有效反映认知加工各个阶段的特点。例如，完成 Go/No-go 任务涉及刺激感知、刺激辨别、反应选择以及反应执行或反应抑制等多个加工过程(Di Russo et al., 2006)。而事件相关电位技术(Event-related potentials, ERPs)具有较好的时间分辨率，能够考察认知加工的时间进程特点。例如，以往研究使用 ERP 技术考察了音乐训练对 4~6 岁儿童抑制控制的影响。结果发现相比于控制组儿童，音乐训练组儿童在进行 4 周音乐训练后，在 Go/No-go 任务上的行为正确率提高，在 No-go 条件上诱发了更大的 P2 波幅(Moreno et al., 2011)。但是这项研究采用基于计算机的模拟音乐训练方式，缺乏生态效度，且训练时间较短，可能导致该研究并没有发现音乐训练对反应抑制核心指标 N2 和 P3 成分产生影响。

基于此，本研究采用 ERP 技术，通过 Go/No-go (反应抑制)和 Stroop (冲突控制)两种任务，考察接受过长期专业音乐训练的大学生(音乐训练组)和非音乐专业大学生(控制组)抑制控制能力的差异及其特点。Go/No-go 任务主要考察反应抑制，该任务通过高概率的 Go 条件形成优势反应，当出现 No-go 条件时则需要抑制优势反应(Di Russo et al., 2006; Jonkman, 2006)。在行为指标上, No-go 条件反应正确率越高说明反应抑制能力越强(Diamond, 2013)。在脑电成分上，Go/No-go 任务会诱发比较明显的 N2 和 P3 成分，呈额–中央区分布，并且 No-go 条件比 Go 条件会诱发更大的 N2 和 P3 波幅(Donkers & van Boxtel, 2004)。No-go N2 效应被认为与反应抑制过程中的冲突监控有关，一般用 No-go 条件诱发的 N2 波幅或 No-go 减去 Go 条件的 N2 差异波幅(N2d)来衡量，并且 No-go N2 或 N2d 的波幅越大则可能反映了越强的冲突监控能力(Cheng et al., 2017; Donkers & van Boxtel, 2004; Nieuwenhuis et al., 2003; Pandey et al., 2012; Smith et al., 2010)。No-go P3 效应被认为与反应抑制过程中的运动抑制有关，一般用 No-go 条件诱发的 P3 波幅或 No-go 条件减 Go 条件的 P3 差异波幅(P3d)来衡量, No-go P3 或者 P3d 的波幅越大则可能反映了越强的运动抑制能力(Enriquez-Geppert et al., 2010; Guan et al., 2015; Jonkman, 2006; Smith et al., 2008; Smith et al., 2013)。

Stroop 任务是考察冲突控制的范式之一，包含冲突(词义与词色不匹配)和非冲突(词义与词色匹配)两种条件(MacLeod, 1991; 刘培朵 等, 2012)。Stroop 任务往往会诱发比较明显的 N450 和冲突相关的慢电位(conflict-sensitive slow potential, SP) (Gajewski & Falkenstein, 2015; West & Alain, 2000a; West, 2004)。N450 一般出现在刺激呈现后 300~600 ms 的时间窗口，在 450 ms 左右达到峰值，呈额–中央区分布，不一致条件比一致条件会诱发更大的 N450 波幅(Gajewski & Falkenstein, 2015; Larson et al., 2014)。N450 成分与冲突控制过程中的冲突监控有关，并且 N450 差异波(不一致条件减一致条件)越大则可能反映了越强的冲突监控能力(Holmes & Pizzagalli, 2008; West, 2004; West & Alain, 2000b)。在 N450 成分之后，会出现冲突相关的慢电位 SP，时间窗口约为刺激呈现后 500~800 ms，呈中央区–顶叶分布，与冲突解决过程有关，且 SP 差异波(不一致条件减一致条件)越大则可能反映了越

强的冲突解决能力(Larson et al., 2014; West & Alain, 2000a; West et al., 2005)。

本研究预期：若音乐训练组被试在反应抑制中具有更强的冲突监控或运动抑制能力，那么在 Go/No-go 任务中他们的 N2 差异波或 P3 差异波的波幅要大于控制组被试；若音乐训练组被试没有反应抑制能力的优势，则两组被试的 N2 和 P3 差异波波幅不会出现显著差异。若音乐训练组被试在冲突控制中具有更强的冲突监控或者冲突解决能力，那么在 Stroop 任务中他们的 N450 差异波或 SP 差异波波幅要大于控制组被试；若音乐训练组被试没有冲突控制能力的优势，则两组被试在 N450 差异波和 SP 差异波波幅上不会出现显著差异。

2　方法

2.1　被试

选取 25 名音乐专业大学生和 25 名非音乐专业的大学生。所有被试视力或矫正视力正常，均为右利手，无精神病史。有 4 名被试 ERP 伪迹试次超过 25%被剔除，最后每组各 23 名被试的数据纳入分析(音乐训练组：年龄 19.91 ± 1.20 岁，男性 2 人，女性 21 人。控制组：年龄 19.87 ± 2.12 岁，男性 8 人，女性 15 人)。音乐训练组被试要求熟练掌握一种乐器(学习 8 年及以上)且至今仍在练习，平均学习年限 10.87 ± 2.60，平均学习初始年龄 7.26 ± 2.42。控制组被试要求除学校音乐课程外，没有接受过任何音乐训练。所有被试填写个人基本信息即姓名、性别、年龄、社会经济地位(父母的受教育程度，1~5 点计分：“小学及以下” = 1; “初中” = 2; “高中或中专” = 3; “大学” = 4; “研究生及以上” = 5)，完成瑞文高级智力测验简化版(Arthur & Day, 1994; 张政华 等, 2020)。此外，音乐训练组被试还需填写音乐训练相关信息(见表 1)。两组被试在年龄，$t(44) = -0.09$, $p = 0.93$，社会经济地位(父母受教育程度), $t(44) = -1.56$, $p = 0.13$ 和智力, $t(44) = -1.37$, $p = 0.18$ 上均无显著差异。所有被试在实验前均签

表 1　被试人口学资料

编号	年龄(岁)		社会经济地位		智力		训练开始年龄(岁)		训练时长(年)		乐器(首个为主修乐器)		每周练习时间(小时)	
	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C
1	19	23	3.5	1.5	10	9	5	无	8	无	小提琴，吉他	无	18	无
2	18	18	3.0	2.5	10	9	9	无	8	无	古筝，钢琴，陶笛	无	5	无
3	18	18	3.5	2.5	11	7	5	无	8	无	钢琴	无	6	无
4	22	20	3.5	3.5	9	12	6	无	15	无	小提琴，钢琴	无	9	无
5	23	19	3.0	2.5	11	7	6	无	12	无	钢琴，小提琴	无	14	无
6	22	23	2.0	4.0	7	10	12	无	8	无	钢琴	无	10	无
7	20	20	3.0	2.0	11	9	10	无	8	无	古筝，钢琴，手风琴	无	5	无
8	20	17	2.5	3.5	7	6	5	无	14	无	钢琴	无	13	无
9	21	19	3.0	2.0	3	12	5	无	15	无	钢琴	无	16	无
10	19	19	2.0	3.0	8	7	7	无	11	无	古筝，钢琴	无	12	无
11	20	18	3.5	3.0	10	6	11	无	8	无	钢琴	无	10	无
12	20	20	2.0	2.5	6	10	10	无	9	无	大提琴	无	9	无
13	20	19	3.5	3.5	11	11	5	无	14	无	中提琴，小提琴，吉他	无	8	无
14	20	22	4.0	2.5	8	9	5	无	13	无	钢琴	无	11	无
15	19	24	3.0	2.0	7	7	9	无	10	无	小提琴	无	10	无
16	19	19	3.0	1.5	9	9	6	无	12	无	钢琴，扬琴	无	15	无
17	20	20	3.0	4.0	7	6	5	无	14	无	钢琴	无	12	无
18	20	19	3.5	3.0	11	7	9	无	8	无	古筝，钢琴，扬琴，大提琴	无	13	无
19	20	18	3.5	1.5	11	8	12	无	8	无	笙，钢琴，葫芦丝，唢呐，萧	无	10	无
20	19	20	3.0	2.5	10	8	6	无	12	无	钢琴	无	8	无
21	19	18	3.0	2.5	10	8	7	无	10	无	小提琴，中提琴，钢琴	无	6	无
22	20	19	4.0	4.5	12	5	6	无	13	无	钢琴	无	10	无
23	20	25	2.5	3.0	11	9	6	无	12	无	小提琴，钢琴	无	5	无

注：M = 音乐训练组(Music group), C = 控制组(Control group)

署知情同意书，结束后给予一定报酬。本实验经湖南师范大学人类伦理委员会批准同意。

2.2 任务和程序

2.2.1 Go/No-go 任务

本实验在隔音、弱光、电磁屏蔽的实验室中进行。实验材料为 4 种颜色或形状不同的刺激：白色长方形(Go 刺激)，紫色长方形(No-go 刺激)，白色三角形(Go 刺激)，紫色三角形(No-go 刺激)。刺激大小相等，均为灰色背景。实验中每个试次的流程如下：首先呈现 500~1000 ms 黑色注视点“+”，然后呈现 500 ms 的刺激，即 Go 刺激与 No-go 刺激随机出现于屏幕中央，刺激消失之后是 1000 ms 的空屏。被试的任务是当 Go 试次出现时快速且准确按“J”键，而当 No-go 试次出现时无需按键。整个实验包括练习实验和正式实验两个部分，正式实验分为两个 block，任务左右手平衡，共计 320 个试次，No-go 和 Go 条件占比为 1:3，即包含 80 个 No-go 试次和 240 个 Go 试次。在行为指标上，使用辨别力指数 d'分数 $= z$(No-go 击中率) $- z$(Go 虚报率)来评估被试反应抑制能力，d'分数越高表示其能力越强。

2.2.2 Stroop 任务

实验材料为红、绿、蓝、黄四种不同颜色的汉字“红”、“绿”、“蓝”、“黄”，共计 16 种刺激材料，其中词色一致的材料有 4 种，词色不一致的材料 12 种。字体大小一致，并统一用灰色背景。每个试次的流程如下：首先在屏幕中央呈现 500 ms 的黑色“+”，然后是 500~800 ms 的随机空屏，之后呈现 1000 ms 的汉字刺激，最后是 1000~1500 ms 的随机空屏。被试的任务是忽略字的意义，仅对字的颜色做反应，如果字的颜色是红色则按“D”键，绿色按“F”键，蓝色按“J”键，黄色按“K”键。实验包括练习实验和正式实验两个部分，正式实验分为两个 block，被试在 block 之间有适当休息。本实验共计 240 个试次，一致条件(每种材料 30 个试次 × 4 种材料 = 120 个试次)和不一致条件(每种材料 10 个试次 × 12 种材料 = 120 个试次)各为 120 次。在行为指标上，用 Stroop 干扰效应(Stroop interference effect)来评估被试冲突控制能力，即一致试次和不一致试次之间的正确率和反应时之差，Stroop 干扰效应越小说明冲突控制能力越好。

2.3 数据采集与分析

EEG 数据通过 ANT 脑电数据记录系统和国际 10-20 系统扩展的 64 导电极帽采集记录。所有电极点头皮电阻均小于 5 kΩ，采样率为 500 Hz。在线参考为 CPz 点，离线分析转为双侧乳突参考。使用 ERPlab 插件对数据进行离线分析，在手动剪除坏段之后进行 0.1~30 Hz 的带通滤波。使用独立成分分析(ICA)矫正眼电伪迹，然后在伪迹校正中剔除波幅超过± 80 μV 的伪迹试次。ERPs 分析时程为刺激呈现后 1000 ms，其中刺激前 200 ms 为基线做矫正。鉴于 Go/No-go 任务两种条件试次数量不同造成的信噪比差异，随机选取 Go 条件试次使其与 No-go 条件试次数量匹配(Gao et al., 2019)。根据实验条件叠加 ERPs 波形图，最后平均所有被试不同条件正确试次的 ERPs 波形图，得到每个被试的总平均图。

根据已有研究(Donkers & van Boxtel, 2004; West & Alain, 2000a)和对总平均图的观察与分析，选择以下 20 个电极点进行数据分析：F3/F1/Fz/F2/F4、FC3/FC1/FCz/FC2/FC4、C3/C1/Cz/C2/C4、P3/P1/Pz/P2/P4。具体如下，在 Go/No-go 任务中分析 N2 和 P3 成分的平均波幅，其中 N2 成分时间窗为刺激呈现后 250~350 ms，电极点为 F3、F1、Fz、F2、F4；P3 成分时间窗为 350~450 ms，电极点为 C3、C1、Cz、C2、C4。在 Stroop 任务中分析 N450 和晚期 SP 成分的平均波幅，其中 N450 成分时间窗为 400~500 ms，分析电极点为 FC3、FC1、FCz、FC2、FC4；SP 成分时间窗为 600~800 ms，电极点为 P3、P1、Pz、P2、P4。

2.4 统计

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。在 Go/No-go 任务中对正确率以及 N2 和 P3 的平均波幅进行 2(条件：Go、No-go)× 2(被试类型：音乐训练组、控制组)两因素方差分析。在 Stroop 任务中对正确率、正确试次的反应时以及 N450 和 SP 的平均波幅进行 2(条件：一致、不一致)× 2(被试类型：音乐训练组、控制组)两因素重复测量方差分析，对不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正。

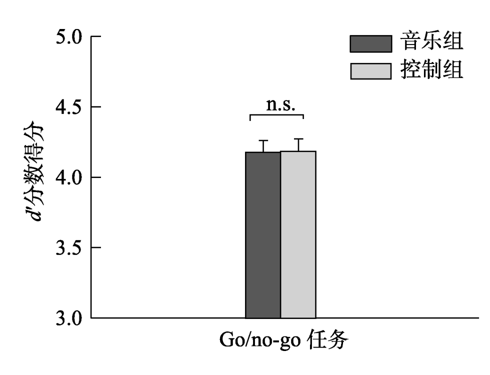
3 结果

3.1 行为结果

在 Go/No-go 任务中，对正确率的方差分析结果显示：条件主效应显著，$F(1, 44) = 28.88$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.40$，Go 条件下的正确率显著高于 No-go 条件下的正确率。被试类型主效应不显著，$F(1, 44) = 0.04$, $p = 0.84$，且二者交互作用不显著，$F(1, 44) = 0.29$, $p = 0.59$。独立样本 t 检验显示：两

组被试在 d'分数, $t(44) = 0.05$, $p = 0.96$, 和 Go 条件的反应时上, $t(44) = 1.81$, $p = 0.08$, 均没有显著差异(见图 1-a 和表 2)。

在 Stroop 任务中，对正确率的方差分析结果显示：条件主效应显著, $F(1, 44) = 117.05$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.73$, 一致条件的正确率显著高于不一致条件；被试类型主效应显著, $F(1, 44) = 6.66$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.13$, 音乐训练组的正确率显著高于控制组被试(见表 2)；二者交互作用显著, $F(1, 44) = 5.44$, $p = 0.024$, $\eta_p^2 = 0.11$。独立样本 t 检验结果显示，音乐训练组的 Stroop 干扰效应(一致正确率减不一致正确率)显著小于控制组(见图 1-b)。反应时结果显示：条件主效应显著, $F(1, 44) = 297.34$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.87$, 一致条件的反应时显著短于不一致条件；被试类型主效应显著, $F(1, 44) = 9.04$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.17$, 音乐训练组的反应时显著短于控制组；被试类型和条件的交互作用不显著, $F(1, 44) = 1.30$, $p = 0.26$。独立样本 t 检验结果显示，在反应时上两组被试 Stroop 干扰效应(不一致反应时减一致反应时)没有显著差异(见图 1-b)。



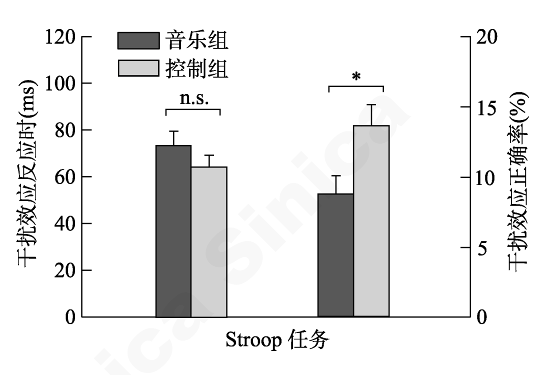


图 1　Go/No-go 和 Stroop 实验中音乐训练组和控制组行为表现。(a) Go/No-go 辨别力指数 d'分数 $= z$(No-go 击中率) − z(Go 虚报率); (b)反应时的 Stroop 干扰效应 = 不一致试次反应时减一致试次反应时, 正确率的 Stroop 干扰效应 = 一致试次正确率减不一致试次正确率。n.s.表示 $p > 0.05$ 即没有显著差异, * $p < 0.05$。

表 2　两组被试在 Go/No-go 和 Stroop 任务中的正确率(%)、反应时(ms)和 ERP 波幅(μV)的差异比较

抑制控制	控制组 *M* (*SD*)	音乐训练组 *M* (*SD*)	*F*(1, 44)	*p*
Go/No-go				
行为				
Go 正确率	99.35 (1.72)	99.83 (0.65)	1.55	0.22
No-go 正确率	96.22 (4.40)	96.00 (3.93)	0.03	0.86
ERP				
Go N2	2.72 (3.33)	7.85 (4.51)	19.24	0.001***
No-go N2	1.69 (3.62)	5.27 (5.55)	6.69	0.013*
Go P3	6.49 (3.62)	11.83 (4.76)	18.37	0.001***
No-go P3	8.05 (4.12)	15.27 (5.98)	22.70	0.001***
Stroop				
行为				
一致　正确率	89.30 (7.89)	93.26 (5.11)	4.07	0.05*
不一致　正确率	75.70 (12.91)	84.48 (8.64)	7.36	0.01**
一致　反应时	636.48 (41.50)	584.39 (61.18)	11.42	0.002**
不一致　反应时	700.90 (42.88)	657.93 (70.24)	6.27	0.016*
ERP				
一致　N450	1.20(3.00)	4.13 (5.13)	5.62	0.022*
不一致　N450	0.41 (2.55)	2.29 (4.19)	3.39	0.07
一致　SP	−5.08 (3.26)	−4.84 (4.40)	0.04	0.84
不一致　SP	−3.54 (3.14)	−3.49 (3.88)	0.003	0.96

注：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.2 ERP 结果

3.2.1 Go/No-go

对 N2 平均波幅的方差分析显示：条件主效应显著，$F(1, 44) = 29.31$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.40$，即 No-go 条件比 Go 条件诱发了更大的 N2 波幅(见图 2a 和 2b)。被试类型主效应显著，$F(1, 44) = 12.39$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.22$，音乐训练组的 N2 波幅小于控制组(见表 2)。条件与被试类型的交互作用显著，$F(1, 44) = 5.42$, $p = 0.025$, $\eta_p^2 = 0.11$。独立样本 t 检验结果显示，音乐训练组的 N2 差异波(No-go 减 Go)显著大于控制组，$t(44) = -2.33$, $p = 0.025$, 95% CI = [−2.89, −0.21], Cohen's $d = 0.69$ (见图 2c 和 2d)。

对 P3 平均波幅的方差分析结果显示：条件主效应显著，$F(1, 44) = 40.01$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.48$，No-go 条件比 Go 条件诱发了更大的 P3 波幅(见图 3a 和 3b)。被试类型主效应显著，$F(1, 44) = 22.31$,

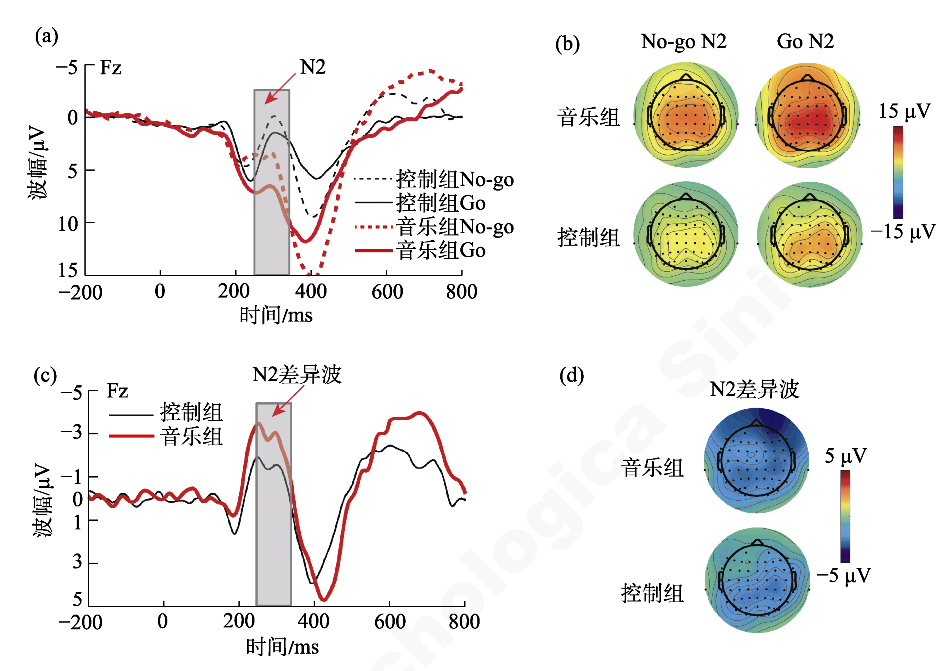


图 2 音乐训练组和控制组被试在 Go/No-go 任务 Fz 点上(a) Go 和 No-go 条件 N2 波形图; (b) Go 和 No-go 条件 N2 地形图; (c) N2 差异波的波形图(No-go 减 Go 条件); (d) N2 差异波的地形图(No-go 减 Go 条件)。

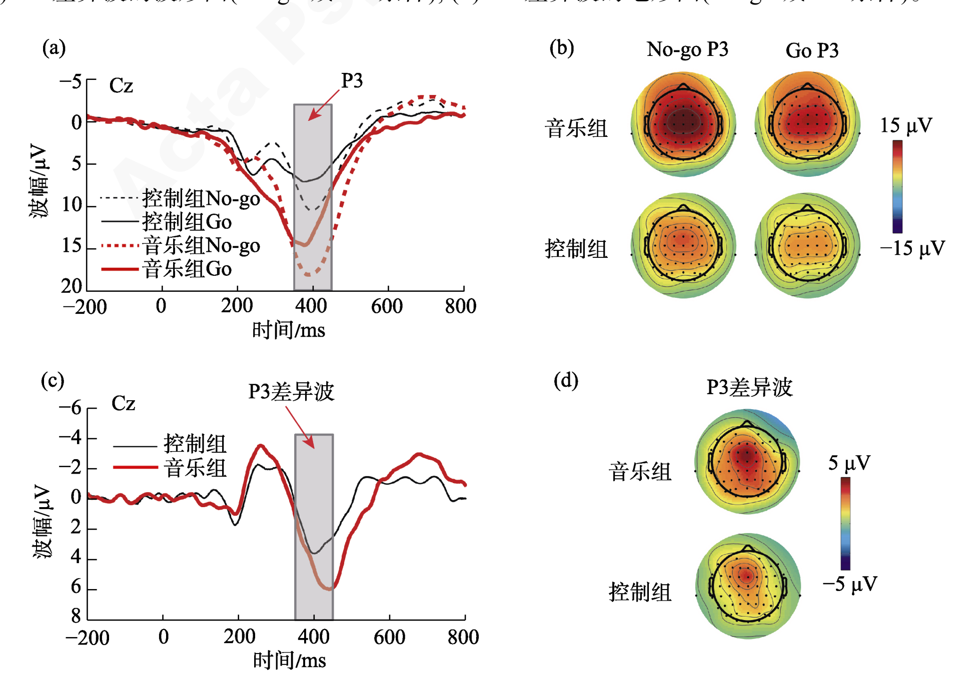


图 3 音乐训练组和控制组被试在 Go/No-go 任务 Cz 点上 (a) Go 和 No-go 条件 P3 波形图; (b) Go 和 No-go 条件 P3 地形图; (c) P3 差异波的波形图(No-go 减 Go 条件); (d) P3 差异波的地形图(No-go 减 Go 条件)。

$p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.34$，音乐训练组的 P3 波幅大于控制组(见表 2)。条件与被试类型的交互作用显著，$F(1, 44) = 5.63$, $p = 0.022$, $\eta_p^2 = 0.11$。独立样本 t 检验结果显示，音乐训练组的 P3 差异波(No-go 减 Go)显著大于控制组，$t(44) = 2.37$, $p = 0.022$, 95% CI = [0.28, 3.47], Cohen's $d = 0.70$ (见图 3c 和 3d)。

3.2.2　Stroop

对 N450 平均波幅的方差分析结果显示：条件主效应显著，$F(1, 44) = 27.68$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.39$，不一致条件比一致条件诱发了更负的 N450 波幅(见图 4a 和 4b)。被试类型主效应显著，$F(1, 44) = 4.73$, $p = 0.035$, $\eta_p^2 = 0.10$，音乐训练组的 N450 波幅大于控制组(见表 2)。被试类型和条件的交互作用显著，$F(1, 44) = 4.43$, $p = 0.041$, $\eta_p^2 = 0.09$。独立样本 t 检验结果显示，音乐训练组的 N450 差异波(不一致减一致)显著大于控制组，$t(44) = -2.11$, $p = 0.041$, 95% CI = [−2.06, 0.04], Cohen's $d = 0.62$ (见图 4c 和 4d)。

SP 成分的重复测量方差分析结果表明：条件主效应显著，$F(1, 44) = 27.60$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.39$，不一致条件比一致条件诱发了更大的 SP 波幅(见图 5a 和 5b)。然而被试类型主效应($F(1, 44) = 0.02$, $p = 0.89$)和条件×被试类型的交互作用($F(1, 44) = 0.11$, $p = 0.74$)均不显著。独立样本 t 检验结果发现：音乐训练组的 SP 差异波(不一致减一致)与控制组无显著差异，$t(44) = 0.34$, $p = 0.74$ (见图 5c 和 5d)。

4　讨论

本研究利用 ERP 技术考察了音乐专业大学生(音乐训练组)和非音乐专业大学生(控制组)抑制控制加工的时间进程特点，并通过 Go/No-go 和 Stroop 两种范式来考察抑制控制中的反应抑制和冲突控制。研究结果发现，尽管在 Go/No-go 任务的行为指标上音乐训练组和控制组没有显著差异，但是音乐训练组诱发的 N2 和 P3 差异波波幅要显著大于控制组，这从电生理指标上反映了音乐训练组被试可能具有更好的冲突监控和运动抑制能力。在 Stroop 任务中的行为指标上，音乐训练组的 Stroop 干扰效应更小；在电生理指标上，音乐训练组诱发的 N450 差异波波幅要显著大于控制组，这也说明音乐训练组被试可能具有更好的冲突监控能力。

4.1　音乐训练与反应抑制的关系

与以往研究一致(Donkers & van Boxtel, 2004; Nieuwenhuis et al., 2003; Smith et al., 2010)，本研究发现了 No-go 条件比 Go 条件诱发了更大的 N2 波幅，并且音乐训练组的 N2 差异波波幅(No-go 减 Go 条件)显著大于控制组。以往研究认为 Go/No-go 任务中的 N2 成分反映了对冲突信息的监控以及对注意资源的分配，从而使得个体更好地应对后续的反应抑制任务(Donkers & van Boxtel, 2004; Smith

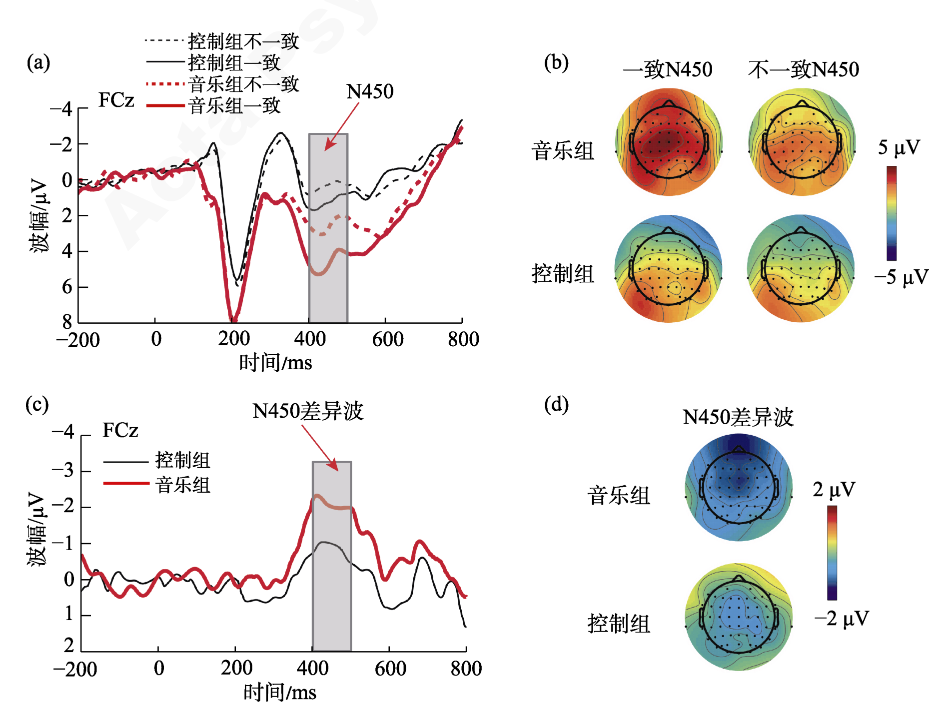


图 4　音乐训练组和控制组被试在 Stroop 任务 FCz 点上 (a) 一致和不一致条件 N450 波形图; (b) 一致和不一致条件 N450 地形图; (c) N450 差异波的波形图(不一致减一致); (d) N450 差异波的地形图(不一致减一致)。

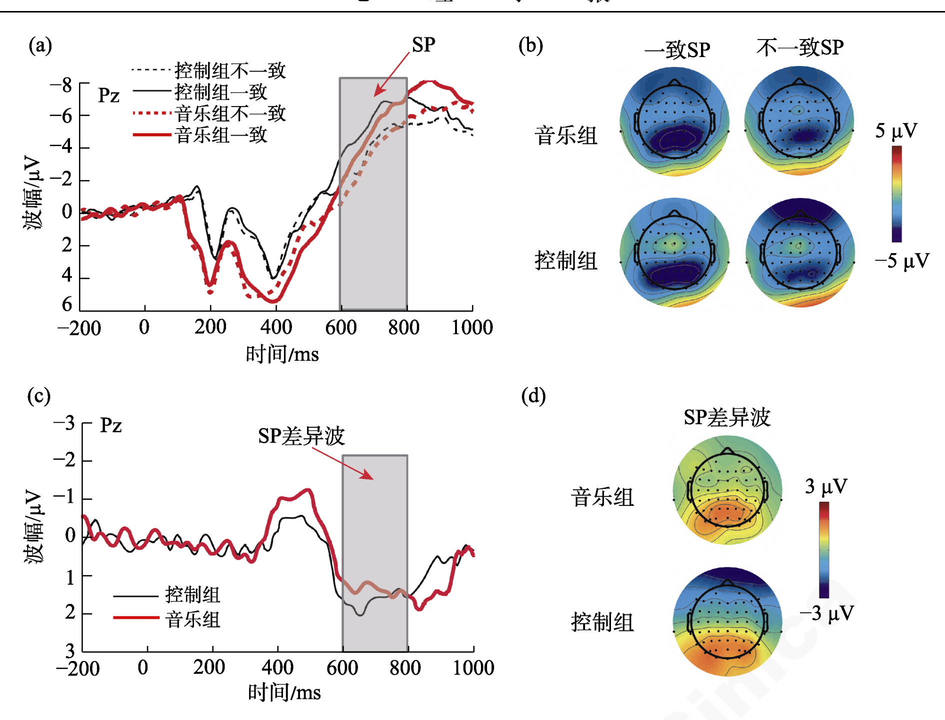


图 5 音乐训练组和控制组被试在 Stroop 任务 Pz 点上 (a) 一致和不一致条件 SP 波形图; (b) 一致和不一致条件 SP 地形图; (c) SP 差异波的波形图(不一致减一致); (d) SP 差异波的地形图(不一致减一致)。

et al., 2010)。有研究认为人们在 Go/No-go 任务中诱发的 N2 差异波波幅越大, 则可能说明其具有更好的冲突监控能力(Cheng et al., 2017; Pandey et al., 2012)。例如, 相比控制组被试, 接受正念训练的被试在完成 Go/No-go 任务时诱发的 N2 差异波更大, 表现出了更好的冲突监控能力(Cheng et al., 2017)。对双语者的研究也发现, 相比于控制组, 双语组被试在完成 Go/No-go 任务时 N2 差异波振幅更大, 反映其具有较强的冲突监控能力(Moreno et al., 2014)。关于酒精成瘾的研究也发现, 酗酒者的冲突监控能力明显减弱, 表现为行为错误率较高, Go 和 No-go 条件诱发的 N2 波幅没有显著差异, 且 No-go N2 成分的源定位发现酗酒组 ACC 区域的激活显著低于正常组(Pandey et al., 2012)。因此, 音乐训练组被试更大的 N2 差异波波幅也可能反映了其对冲突信息具有较强的监控能力。

此外, 同步 EEG 和 fMRI 的多模态技术(multimodal)发现 N2 差异波的增大与部分默认网络(default mode network, DMN)的激活降低有关(Baumeister et al., 2014)。默认网络在清醒休息时激活, 在完成目标任务、分配注意力资源时抑制(Buckner et al., 2008)。音乐训练组被试较大的 N2 差异波波幅也可能说明音乐训练组被试在完成 Go/No-go 任务时可以更好地分配注意力资源。

在 P3 成分上, 与以往研究一致(Enriquez-Geppert et al., 2010; Smith et al., 2013), 本研究发现了 No-go 条件比 Go 条件诱发了更大的 P3 波幅, 且音乐训练组的 P3 差异波波幅(No-go 减 Go 条件)显著大于控制组。以往研究认为抑制控任务中的 P3 成分反映了运动抑制能力(Smith et al., 2008)。也有研究认为 P3 差异波波幅越大, 个体的运动抑制能力可能就越强(Guan et al., 2015; Jonkman, 2006)。例如, 研究发现反应抑制能力从儿童期到成年期逐渐成熟, 表现为行为正确率的提高和 P3 差异波幅的增大(Jonkman, 2006)。体育训练的研究发现, 击剑运动员相比于非运动员在完成 Go/No-go 任务时 P3 差异波波幅更大, 反映其更强的运动抑制能力(Di Russo et al., 2006)。具有反社会人格的青少年罪犯存在反应抑制障碍, 表现为 Go/No-go 任务行为正确率较低、N2 和 P3 差异波振幅较小(Guan et al., 2015)。综上所述, 音乐训练组被试在 Go/No-go 任务中更大的 P3 差异波波幅说明其可能具有更好的运动抑制能力。

音乐训练组具有反应抑制优势可能是因为音乐演奏需要具备较好的冲突监控能力和运动抑制能力(Slevc et al., 2016)。例如, 在音乐演奏过程中, 特别是演奏复调音乐(需要同时演奏几个旋律)时, 不但需要双手协调来演奏不同的旋律, 还需根据乐谱的特点不断调节和控制手指按压琴键的时间和力度, 同时还需具有听觉监控能力, 对演奏效果作

出快速判断并调节下一个演奏动作, 这些过程都涉及冲突监控和运动抑制的参与。因此, 长期的音乐训练可能会提升音乐学习者这方面的能力。

4.2　音乐训练与冲突控制的关系

在颜色词呈现后 450 ms 左右, 与以往研究一致(Larson et al., 2014), 本研究发现了不一致条件比一致条件诱发了更负的 N450 成分, 并且音乐训练组诱发的 N450 差异波波幅(不一致减一致条件)显著大于控制组。以往研究认为 N450 差异波可能起源于前扣带回, 与冲突监控有关, N450 的差异波波幅越大, 则可能反映冲突监控能力越强(Badzakova-Trajkov et al., 2009; West, 2004)。例如, 冲突控制的发展研究发现, 老年人的冲突监控能力减弱表现为 Stroop 任务中行为成绩的降低和 N450 差异波波幅的减小(West, 2004; West & Alain, 2000b)。有关体育训练的研究发现, 相比于缺乏运动的老年人, 积极运动的老年人在完成 Stroop 任务时正确率更高、反应时更短且 N450 波幅更大(Gajewski & Falkenstein, 2015)。对抑郁症患者的研究也发现, 相比于健康被试, 抑郁症患者冲突监控能力受损, 表现为 Stroop 任务干扰效应增加和 N450 差异波减弱(Holmes & Pizzagalli, 2008)。因此, 与以往研究类似, 音乐训练组被试增强的 N450 差异波可能反映了其更好的冲突检测能力。

在颜色词呈现后 600 ms 左右, 不一致条件比一致条件诱发了更正的 SP 波幅, 反映了个体调动更多的认知控制资源来解决冲突(Larson et al., 2009; West & Alain, 2000a)。以往研究认为 SP 可能来源于背外侧前额叶皮层(dlPFC), 与冲突解决过程的认知控制相关, 涉及注意控制、冲突评价和冲突信息处理后适应等过程(Lansbergen et al., 2007; Larson et al., 2014)。研究认为 SP 差异波波幅越大, 冲突解决能力可能就越强(Larson et al., 2014; West et al., 2005)。例如, 与健康被试相比, 精神分裂症患者存在冲突控制障碍, 表现为 Stroop 干扰效应的增加, N450 差异波和冲突 SP 差异波波幅显著减弱(McNeely et al., 2003)。然而本研究发现两组被试在各条件的 SP 及其差异波波幅均没有显著差异, 这可能说明两组被试在冲突解决过程中并没有显著差异。

Stroop 的平行分布式加工模型(Parallel Distributed Processing, PDP)认为, 当我们进行任务操作时 PDP 系统会平行加工不同维度信息(词色和词义), 两条通路同时激活产生干扰, 而个体的经验会影响对词色、词义加工的强度, 从而影响信息加工的速度和准确性(MacLeod, 1991)。在器乐学习过程中, 演奏者需要集中注意力在复杂的器乐演奏任务, 而忽略其他干扰因素(例如, 思考与演奏无关的事情、外界杂音、手机声干扰等)。特别是在器乐合奏活动中, 演奏者不仅要专注于自己声部的演奏, 还要配合其他声部的演奏(例如, 监控乐队整体音色是否统一、抑制个人的演奏习惯等) (Okada & Slevc, 2017)。因此长期的音乐训练可能会提升与冲突监控相关的能力, 即音乐训练组可能对冲突信息中目标维度的加工更强, 且更容易抑制非目标维度的干扰。本研究结果与前人的 fMRI 研究相符, 即接受过 2 年音乐训练的儿童在完成 Stroop 任务时前扣带回(ACC)的激活显著大于控制组儿童, 然而两组被试在背外侧前额叶皮层(dlPFC)的激活水平并无差异(Sachs et al., 2017)。一般认为 ACC 是与冲突监控相关的脑区, 而 dlPFC 是与冲突解决相关的脑区(Badzakova-Trajkov et al., 2009; Carter & van Veen, 2007), 这说明音乐训练对冲突监控影响较明显, 对冲突解决影响较弱。

此外, 音乐训练组的抑制控制优势也可能源于音乐训练对抑制控制相关脑区功能和结构的塑造。例如, James 等人(2014)利用 fMRI 技术发现音乐训练水平与右侧眶额回中部、左侧额下回脑区皮层的灰质密度呈显著的正相关。Fauvel 等人(2014)发现音乐训练组相比控制组, 表现出右侧额下回与扣带回的功能连接增强。而这些脑区与抑制控制有着密切的关系(Badzakova-Trajkov et al., 2009; Carter & van Veen, 2007; Simmonds et al., 2008)。目前考察音乐训练与抑制控制关系的认知神经机制研究仍较少, 未来可以通过脑成像技术进一步探讨音乐训练和抑制控制关系的神经基础。

值得注意的是, 本研究采用的是音乐训练组和控制组进行对比分析的横断设计, 不能得出音乐训练与抑制控制之间的因果关系, 同时也不能完全控制两组被试固有的个体差异, 例如人格特质和认知能力等(Corrigall et al., 2013)。因此, 在本研究中我们也尽可能控制了对抑制控制有一定影响的额外变量, 例如年龄、智力和家庭经济地位等。未来研究可以通过纵向设计来考察音乐训练和抑制控制的因果联系。此外, 也有一些研究并没有发现音乐训练与抑制控制存在关联。例如, Sachs 等(2017)的研究使用 Stroop 任务和 fMRI 技术发现 8~10 岁音乐训练组和对照组儿童在抑制控制的行为学指标

上并无显著差异，但是在神经学指标上，音乐训练组儿童在辅助运动区、额下回、前扣带回有更强的激活；Okada (2016)使用量表来测量大学生的音乐训练经验，结果发现音乐训练量与 Stroop 任务成绩并没有显著相关；但是，Seinfeld 等(2013)的研究对 60~84 岁老年人进行了为期 4 个月的音乐训练，训练后老年人在 Stroop 任务上的成绩有所提升。因此，被试的年龄、音乐训练经验以及抑制控制的测量指标等因素都可能对实验结果产生影响，未来的研究需要考虑这些因素。最后，本研究仅从视觉通道上考察音乐训练和抑制控制的关系。目前，在一个实验里同时考察音乐训练与视觉、听觉抑制控制能力关系的研究还很少(Bialystok & Depape, 2009; Slevc et al., 2016)。因此，未来研究可以同时采用视觉和听觉 Stroop 任务，以及视觉和听觉 Go/No-go 任务来考察，从而更好地回答音乐训练和抑制控制的关系是领域一般性还是领域特异性。

5 结论

本研究采用 ERP 技术从反应抑制和冲突控制两个方面，考察了音乐训练组和控制组被试抑制控制加工的时间进程特点。结果发现，相比控制组被试，音乐训练组被试在完成 Go/No-go 任务时 N2 和 P3 差异波波幅更大，在完成 Stroop 任务时 N450 差异波波幅也更大，但 SP 差异波波幅两组被试并无显著差异。结果表明，音乐训练组被试在反应抑制任务中具有更强的冲突监控和运动抑制能力，在冲突控制任务中具有更强的冲突监控能力。本研究从电生理层面反映了音乐训练与抑制控制能力的提升具有一定的关联。

参 考 文 献

Arthur, W., & Day, D. V. (1994). Development of a short form for the raven advanced progressive matrices test. *Educational & Psychological Measurement*, *54*(2), 394–403.

Badzakova-Trajkov, G., Barnett, K. J., Waldie, K. E., & Kirk, I. J. (2009). An ERP investigation of the Stroop task: The role of the cingulate in attentional allocation and conflict resolution. *Brain Research, 1253*, 139–148.

Baumeister, S., Hohmann, S., Wolf, I., Plichta, M. M., Rechtsteiner, S., Zangl, M., ... Brandeis, D. (2014). Sequential inhibitory control processes assessed through simultaneous EEG-fMRI. *NeuroImage, 94*, 349–359.

Bialystok, E., & Depape, A.-M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(2), 565–574.

Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1124,* 1–38.

Carter, C. S., & van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience, 7*(4), 367–379.

Chen, J., Liu, L., Wang, R., & Shen, H. Z. (2017). The effect of musical training on executive functions. *Advances in Psychological Science, 25*(11), 1854–1864.

[陈杰, 刘雷, 王蓉, 沈海洲. (2017). 音乐训练对执行功能的影响. *心理科学进展, 25*(11), 1854–1864.]

Cheng, K. S., Chang, Y. F., Han, R. P. S., & Lee, P. F. (2017). Enhanced conflict monitoring via a short-duration, video-assisted deep breathing in healthy young adults: An event-related potential approach through the Go/NoGo paradigm. *Peer J, 5*, e3857.

Corrigall, K. A., Schellenberg, E. G., & Misura, N. M. (2013). Music training, cognition, and personality. *Frontiers in Psychology, 4*, 222.

Di Russo, F., Taddei, F., Apnile, T., & Spinelli, D. (2006). Neural correlates of fast stimulus discrimination and response selection in top-level fencers. *Neuroscience Letters, 408*(2), 113–118.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 135–168.

Donkers, F. C. L., & van Boxtel, G. J. M. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and Cognition, 56*(2), 165–176.

Enriquez-Geppert, S., Konrad, C., Pantev, C., & Huster, R. J. (2010). Conflict and inhibition differentially affect the N200/P300 complex in a combined go/nogo and stop-signal task. *NeuroImage, 51*(2), 877–887.

Fauvel, B., Groussard, M., Chételat, G., Fouquet, M., Landeau, B., Eustache, F., ... Platel, H. (2014). Morphological brain plasticity induced by musical expertise is accompanied by modulation of functional connectivity at rest. *NeuroImage, 90*, 179–188.

Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2015). Long-term habitual physical activity is associated with lower distractibility in a Stroop interference task in aging: Behavioral and ERP evidence. *Brain and Cognition, 98*, 87–101.

Gao, Q. F., Jia, G., Zhao, J., & Zhang, D. D. (2019). Inhibitory Control in Excessive Social Networking Users: Evidence From an Event-Related Potential-Based Go-Nogo Task. *Frontiers in Psychology, 10*, 1810.

Guan, M., Liao, Y., Ren, H., Wang, X., Yang, Q., Liu, X., & Wang, W. (2015). Impaired response inhibition in juvenile delinquents with antisocial personality characteristics: A preliminary ERP study in a Go/Nogo task. *Neuroscience Letters, 603*, 1–5.

Holmes, A. J., & Pizzagalli, D. A. (2008). Response conflict and frontocingulate dysfunction in unmedicated participants with major depression. *Neuropsychologia, 46*(12), 2904–2913.

James, C. E., Oechslin, M. S., van de Ville, D., Hauert, C. A., Descloux, C., & Lazeyras, F. (2014). Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks. *Brain Structure and Function, 219*(1), 353–366.

Jaschke, A. C., Honing, H., & Scherder, E. J. A. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience, 12*, 103.

Jonkman, L. M. (2006). The development of preparation, conflict monitoring and inhibition from early childhood to young adulthood; a Go/Nogo ERP study. *Brain Research,*

1097(1), 181–193.

Joret, M.-E., Germeys, F., & Gidron, Y. (2016). Cognitive inhibitory control in children following early childhood music education. *Musicae Scientiae*, *21*(3), 303–315.

Lansbergen, M. M., van Hell, E., & Kenemans, J. L. (2007). Impulsivity and conflict in the Stroop task: An ERP study. *Journal of Psychophysiology, 21*(1), 33–50.

Larson, M. J., Clayson, P. E., & Clawson, A. (2014). Making sense of all the conflict: A theoretical review and critique of conflict-related ERPs. *International Journal of Psychophysiology, 93*(3), 283–297.

Larson, M. J., Kaufman, D. A. S., & Perlstein, W. M. (2009). Neural time course of conflict adaptation effects on the Stroop task. *Neuropsychologia, 47*(3), 663–670.

Li, C. S., Morgan, P. T., Matuskey, D., Abdelghany, O., Luo, X., Chang, J. L., …Malison, R. (2010). Biological markers of the effects of intravenous methylphenidate on improving inhibitory control in cocaine-dependent patients. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 107*(32), 14455–14459.

Liu, P. D., Yang, W. J., Tian, X., & Chen, A.T. (2017). An overview of current studies about the conflict adaptation effect. *Advances in Psychological Science, 20*(4), 532–541.

[刘培朵，杨文静，田夏，陈安涛. (2012). 冲突适应效应研究述评. *心理科学进展*, *20*(4), 532–541]

MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin, 109*(2), 163–203.

McNeely, H. E., West, R., Christensen, B. K., & Alain, C. (2003). Neurophysiological evidence for disturbances of conflict processing in patients with schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology, 112*(4), 679–688.

Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-Term Music Training Enhances Verbal Intelligence and Executive Function. *Psychological Science, 22*(11), 1425–1433.

Moreno, S., Wodniecka, Z., Tays, W., Alain, C., & Bialystok, E. (2014). Inhibitory control in bilinguals and musicians: Event related potential (ERP) evidence for experience-specific effects. *PLOS ONE, 9*(4), e94169.

Munakata, Y., Herd, S. A., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T., & O'Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(10), 453–459.

Nieuwenhuis, S., Yeung, N., van den Wildenberg, W., & Ridderinkhof, K. R. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task: Effects of response conflict and trial type frequency. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 3*(1), 17–26.

Okada, B. M. (2016). *Musical training and executive functions* (Unpublised master's thesis). University of Maryland, College Park.

Okada, B. M., & Slevc, L. R. (2017). Music training: Contributions to executive function. In M. F. Bunting, J. M. Novick, M. R. Dougherty, & R. W. Engle (Eds.), *An integrative approach to cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development* (pp. 1–16). New York, NY: Oxford University Press.

Pandey, A. K., Kamarajan, C., Tang, Y., Chorlian, D. B., Roopesh, B. N., Manz, N., ... Porjesz, B. (2012). Neurocognitive deficits in male alcoholics: An ERP/ sLORETA analysis of the N2 component in an equal probability Go/NoGo task. *Biological Psychology, 89*(1), 170–182.

Pliszka, S. R., Liotti, M., Bailey, B. Y., Perez III, R., Glahn, D., & Semrud-Clikeman, M. (2007). Electrophysiological effects of stimulant treatment on inhibitory control in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child & Adolescent Psychopharmacology, 17*(3), 356–366.

Sachs, M., Kaplan, J., der Sarkissian, A., & Habibi, A. (2017). Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *PLOS ONE, 12*(10), e0187254.

Seinfeld, S., Figueroa, H., Ortiz-Gil, J., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers in Psychology, 4*, 810.

Simmonds, D. J., Pekar, J. J., & Mostofsky, S. H. (2008). Meta-analysis of Go/No-go tasks, demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is task-dependent. *Neuropsychologia, 46*(1), 224–232.

Slevc, L. R., Davey, N. S., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2016). Tuning the mind: Exploring the connections between musical ability and executive functions. *Cognition, 152*, 199–211.

Smith, J. L., Jamadar, S., Provost, A. L., & Michie, P. T. (2013). Motor and non-motor inhibition in the Go/NoGo task: An ERP and fMRI study. *International Journal of Psychophysiology, 87*(3), 244–253.

Smith, J. L., Johnstone, S. J., & Barry, R. J. (2008). Movement-related potentials in the Go/NoGo task: The P3 reflects both cognitive and motor inhibition. *Clinical Neurophysiology, 119*(3), 704–714.

Smith, J. L., Smith, E. A., Provost, A. L., & Heathcote, A. (2010). Sequence effects support the conflict theory of N2 and P3 in the Go/NoGo task. *International Journal of Psychophysiology, 75*(3), 217–226.

Travis, F., Harung, H. S., & Lagrosen, Y. (2011). Moral development, executive functioning, peak experiences and brain patterns in professional and amateur classical musicians: Interpreted in light of a Unified Theory of Performance. *Consciousness and Cognition, 20*(4), 1256–1264.

West, R. (2004). The effects of aging on controlled attention and conflict processing in the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*(1), 103–113.

West, R., & Alain, C. (2000a). Effects of task context and fluctuations of attention on neural activity supporting performance of the stroop task. *Brain Research, 873*(1), 102–111.

West, R., & Alain, C. (2000b). Age-related decline in inhibitory control contributes to the increased Stroop effect observed in older adults. *Psychophysiology, 37*(2), 179–189.

West, R., Jakubek, K., Wymbs, N., Perry, M., & Moore, K. (2005). Neural correlates of conflict processing. *Experimental Brain Research, 167*(1), 38–48.

Zhang, Z. H., Han, M., Zhang, F., & Li, W.J. (2020). Musical training improves rhythm integrative processing of classical Chinese poem. *Acta Psychologica Sinica, 52*(7), 847–860.

[张政华，韩梅，张放，李卫君. (2020). 音乐训练促进诗句韵律整合加工的神经过程. *心理学报*, *52*(7), 847–860.]

Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PLOS ONE, 9*(6), e99868.

The relationship between musical training and inhibitory control: An ERPs study

CHEN Jiejia, ZHOU Yi, CHEN Jie

(*School of Educational Science, Hunan Normal University; Cognition and Human Behavior Key Laboratory of Hunan Province, Changsha* 410081, *China*)

Abstract

Inhibitory control, a fundamental component of executive function, refers to the ability to control one's attention and suppress internal and external interferences effectively to achieve the setting targets. It plays a crucial role in allowing us to adapt to the environment, and serves as a basis of other cognitive functions, such as reasoning, planning and learning. Moreover, several psychiatric disorders, such as addictions, attention deficit hyperactivity and obsessive-compulsive disorder have been shown to involve deficits in inhibitory control. Thus, establishing ways in which inhibitory control can be improved constitutes an important issue for psychologist and medical scientist. In recent years, musical training has been suggested to be associated with improved executive functions, such as inhibitory control. However, the overall findings in these studies have been mixed. While some studies indicated a positive relationship between musical training and inhibitory control, other studies showed no facilitative effect of musical training. Importantly, however, inhibitory control is not a single function, but can be divided into response inhibition and interference control. Previous studies that assessed the relationship between musical training and inhibitory control failed to investigate these two separate components within the same experiment. Furthermore, its underlying neural mechanism remain elusive. Based on these considerations, the present study aimed to examine the relationship between musical training and inhibitory control through the Go/No-go (response inhibition) and Stroop (interference control) tasks by using event-related-potentials (ERPs).

Experiments were carried out in an acoustically and electrically shielded room, and lasted approximately 40 minutes. In the Go/No-go task, participants had to press a keyboard button in response to white shapes (Go trials, 75%), while they had to inhibit responding to purple shapes (No-go trials, 25%). Each stimulus was presented for 500 ms with an interstimulus interval of 1000 ms. The experiment consisted of 320 trials, presented in a random order. Performance was evaluated using a Signal Detection approach by calculating perceptual sensitivity via: $d' = z$(No-go hit rate) – z(Go false alarm rate). Higher d' values indicate better response inhibition. In the Stroop task, participants were presented with Chinese color words (red, green, blue, yellow), printed in different colors. Stimuli were divided into word-color consistent trails (congruent, 50%) and word-color inconsistent trails (incongruent, 50%). A stimulus was presented for 1000 ms with a random interstimulus interval of 1000~1500 ms. Participants had to name the color in which the word was presented without paying attention to the word's meaning. The experiment consisted of 240 trials, presented in a random order. The difference between accuracy in the congruent and the incongruent conditions is referred to as Stroop interference effect. Smaller effects are indicative of better interference control. The experimental sequence was balanced between participants.

The behavioral results showed that music group had smaller interference effect than the control group in the Stroop task, while both groups performed similarly in the Go/No-go task. As for the ERP results, in Go/No-go task, the amplitudes of the N2 (N2d) and P3 difference waves, contrasting No-go and Go trials, were larger in music group than in control group. In the Stroop task, the amplitude of the N450 (N450d) difference wave, contrasting congruent and incongruent trials, were also larger in music group than in control group. However, the amplitude of the SP (SPd) difference wave, which serves as an index of conflict resolution, was similar between the two groups.

The aim of present study was to explore the influence of music training on the cognitive and neural mechanisms governing inhibitory control. The present results supported the hypothesis that individuals that received music training had stronger conflict monitoring and motor inhibition abilities when completing the response inhibition task, as well as a better conflict monitoring ability when completing the interference control task. This indicates a potential association between music training and inhibitory control.

Key words music training, inhibitory control, response inhibition, interference control